PCT/AT 99/00311

09/868706

ÖSTERREICHISCHES PATENTAMT

A-1014 WIEN, KOHLMARKT 8 – 10

REC'D 10 FEB 2000

WIPO PCT

Aktenzeichen A 2128/98

Das Österreichische Patentamt bestätigt, dass

4

die Firma Ericsson Austria Aktiengesellschaft in A-1121 Wien, Pottendorfer Straße 25 - 27,

am **21. Dezember 1998** eine Patentanmeldung betreffend

"Verfahren zur Übertragung von Daten",

überreicht hat und dass die beigeheftete Beschreibung samt Zeichnungen mit der ursprünglichen, zugleich mit dieser Patentanmeldung überreichten Beschreibung samt Zeichnungen übereinstimmt.

Es wurde beantragt, Dipl.-Ing. Robert Baldemair in Wien, als Erfinder zu nennen.

Österreichisches Patentamt

Wien, am 17. Jänner 2000

Der Präsident:

i. A.

ÖSTERREICHISCHES PATENTAMT

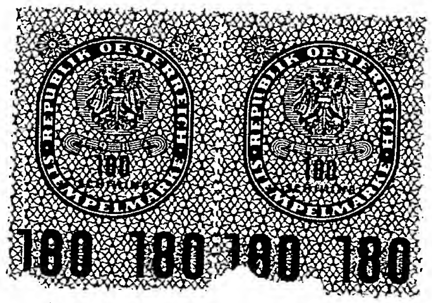
Kanzleirat FÜHRLINGER

Fachoberinspektor

PRIORITY DOCUMENT

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

ÖSTERREICHISCHES PATENTAMT



ÖSTERREICHISCHES PATENTAMT
Verwaltungsstellen-Direktion
300,- S 21,80 €
Kanzleigebühr bezahlt.
Ballaun

A2128/98-1

Urtext

PATENTANWALT DIPL.-ING. D CHN.
FERDINAND GI ER
Vertreter vor dem Europäischen Patentamt
A-1010 WIEN Dorotheergasse 7
Telefon: (0222) 512 10 98

23406/we

(51) Int. Cl.:

AT PATENTSCHRIFT (11) NR.

---

(73)	Patentinhaber:	Ericsson Austria Aktiengesellschaft Wien (AT)
(54)	Gegenstand:	Verfahren zur Übertragung von Daten
(61)	Zusatz zu Patent Nr.:	
(62)	Ausscheidung aus:	
(22)(21)	Angemeldet am:	1998 12 21
(23)	Ausstellungspriorität:	
(33)(32)(31)	Unionspriorität:	
(42)	Beginn der Patentdauer:	
	Längste mögliche Dauer:	
(45)	Ausgegeben am:	
(72)	Erfinder:	
(60)	Abhängigkeit:	

---

(56) Entgegenhaltungen, die für die Beurteilung der Patentierbarkeit in Betracht gezogen wurden:

1/2

23406/we

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Übertragung von Daten durch ein Mehrträgerverfahren, z.B. DMT (Discrete Multitone) in einem Übertragungskanal, bei dem die Daten in einem Sender zu Blöcken mit gleicher Anzahl M an Informationssymbolen zusammengefaßt, durch eine Inverse-Fast-Fourier-Transformation (IFFT) moduliert und übertragen werden, und in einem Empfänger durch Fast-Fourier-Transformation (FFT) demoduliert werden, wobei senderseitig zwischen den Blöcken jeweils ein Guard-Intervall für die empfängerseitige Entzerrung eingefügt und mitübertragen wird, welches Guard-Intervall eine Länge (P) aufweist, die größer oder gleich der Gedächtnislänge des Übertragungskanals ist.

Viele der bekannten Übertragungsverfahren nutzen den verfügbaren Frequenzbereich eines Übertragungskanals durch geeignete Modulation der zu übertragenden Daten. So wird bei einer Frequenzmultiplex-Übertragung eine Unterteilung in mehrere Frequenzlagen vorgenommen, über die die Information übertragen wird. Verfahren dieser Art sind unter den Bezeichnungen Mehrträgerverfahren, Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM) und Discrete Multitone-Verfahren (DMT) bekanntgeworden.

Dabei ist ein vorgegebenes breites Frequenzband in sehr viele schmale Subkanäle unterteilt, über die die Daten übertragen werden. Zu diesem Zweck werden die Daten in einem Sender zu Informationsblöcken gleicher Länge zusammengefaßt und durch eine Inverse-Fast-Fourier-Transformation (IFFT) moduliert, die eine Filterung der Subkanäle mit frequenzverschobenen Versionen eines Prototypfilters bewirkt. Der dabei entstehende Sendeblock wird vom Sender seriell auf die Übertragungsleitung ausgegeben. Infolge des Gedächtnisses des dispersiven Übertragungskanals kommt es auf der Empfangsseite im allgemeinen zu einer Interferenz zwischen aufeinanderfolgenden Blöcken. Um eine Überlappung auf Empfängerseite zu vermeiden, muß senderseitig zwischen den einzelnen Blöcken ein Guard-Intervall eingefügt werden. Die Demodulation der Daten erfolgt im Empfänger durch eine Fast-Fourier-Transformation (FFT), wobei die Eingangsabtastwerte blockweise in Spektralwerte transformiert werden. Die Entzerrung kann bei Anwendung der FFT im Empfänger wesentlich vereinfacht werden, wenn im Guard-Intervall ein zyklisches Prefix mitübertragen wird, das aus einer Anzahl von wiederholten Daten jedes Blocks besteht, die zeitlich vor dem Block innerhalb des Guard-Intervalls übertragen werden. Die Transformationslänge L der FFT ist dabei gleich der Länge M der gesendeten Datenblöcke. Um eine wirksame Entzerrung zu erhalten, muß das Guardintervall bzw. das zyklische Prefix größer oder gleich der Gedächtnislänge des Kanals sein. Der Vorteil der relativ einfachen Entzerrung bringt jedoch den Nachteil der im Prefix-Signal ohne Informationsgewinn übertragenen Daten mit sich, die einen Teil der zur Verfügung stehenden Sendeleistung für sich beanspruchen.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren der eingangs genannten Art anzugeben, mit dem eine empfängerseitige Entzerrung des übertragenen Sendesignals ohne Übertragung von nicht verwertbarer Information und damit eine Erhöhung der für die Datenübertragung verfügbaren Sendeleistung ermöglicht wird.

Erfindungsgemäß wird dies dadurch erreicht, daß das Guard-Intervall signalfrei bzw. ohne Prefix übertragen wird, und daß die Demodulation im Empfänger mittels Fourier-Transformation (FFT) mit einer Länge L erfolgt, die größer oder gleich der Summe der Informationsblocklänge M und der Länge P des Guard-Intervalls ist.

Der Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, daß im Guard-Intervall kein Signal bzw. keine Leistung gesendet werden muß, wodurch die mittlere Sendeleistung reduziert wird, zugleich aber die Entzerrung des übertragenen Signals mit relativ geringem Aufwand durchgeführt werden kann. Daher kann bei Annahme einer vorgegebenen Leistungsdichte innerhalb eines Übertragungskanals die Sendeleistung für die Informationsblöcke erhöht werden. Alternativ dazu kann gemäß einem weiteren Merkmal der Erfindung vorgesehen sein, daß im Guard-Intervall ein Nutzsignal, z.B. Pilottöne, übertragen wird, was für die Taktrückgewinnung von Vorteil ist.

In vorteilhafter Weise kann die Demodulation gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung dadurch erfolgen, daß der jeweils im Empfänger zu transformierende, die Länge M+P aufweisende Informationsblock durch Anhängen von Nullen auf die Transformationslänge L verlängert wird.

In weiterer Ausbildung der Erfindung kann vorgesehen sein, daß die Transformationslänge L der Fast-Fourier-Transformation (FFT) gleich der doppelten Informationsblocklänge $2 \cdot M$ ist. Für diesen Fall ist eine sehr effiziente Implementierung möglich.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung kann vorgesehen sein, daß das Guardintervall jeweils vor oder nach einem Informationsblock gesendet wird.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand des in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispiels eingehend erläutert. Es zeigt dabei

Fig.1 ein Sendesignal bei Verwendung eines zyklischen Prefixes gemäß Stand der Technik;

Fig.2 Zerlegung eines, durch das Sendesignal gemäß Fig.1 hervorgerufenen Empfangssignals in Blöcke der Länge M;

Fig.3 ein prefix-freies Sendesignal gemäß einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens;

Fig.4 Zerlegung eines, durch das Sendesignal gemäß Fig.3 hervorgerufenen Empfangssignals in Blöcke der Länge M+P und

Fig.5 Demodulation des Empfangssignals gemäß Fig.4 durch eine FFT der Länge 2M.

Bei der Übertragung von Daten durch ein Mehrträgerverfahren, z.B. DMT (Discrete Multitone), werden die zu übertragenden Daten in einem Sender zu nachfolgend dargestellten Blöcken mit gleicher Anzahl M an Informationssymbolen zusammengefaßt.

0. Block $\quad \underline{A}_0 = [A_0 \quad A_1 \quad \dots \quad A_{M-1}]^T$

1. Block $\quad A_M = [A_M \quad A_{M+1} \quad \ldots \quad A_{2M-1}]^T$

$\vdots$

m. Block $\quad A_{mM} = [A_{mM} \quad A_{mM+1} \quad \ldots \quad A_{mM+M-1}]^T$

$\vdots$

Die so zusammengefaßten Daten werden durch eine M-Punkte Inverse-Fast-Fourier-Transformation (IFFT) moduliert und übertragen. Der Sendeblock lautet

$$
\begin{aligned}
\mathbf{a}_0 &= [a_0 \quad a_1 \quad \ldots \quad a_{M-1}]^T = \mathrm{IFFT}_M\{\mathbf{A}_0\}\\
\mathbf{a}_M &= [a_M \quad A_{M+1} \quad \ldots \quad A_{2M-1}]^T = \mathrm{IFFT}_M\{\mathbf{A}_M\}\\
&\vdots\\
\mathbf{a}_{mM} &= [a_{mM} \quad a_{mM+1} \quad \ldots \quad A_{mM+M-1}]^T = \mathrm{IFFT}_M\{A_{mM}\}\\
&\vdots
\end{aligned}
$$

und wird seriell am Sender-Ausgang ausgegeben. Infolge des Gedächtnisses des Übertragungskanals kommt es auf der Empfangsseite im allgemeinen zu einer Interferenz zwischen aufeinanderfolgenden Blöcken. Um dies zu vermeiden, wird gemäß dem Stand der Technik zwischen den einzelnen Blöcken ein Guard-Intervall mit einem zyklischen Prefix eingefügt, wobei am Anfang jedes Blocks die letzten P Daten dieses Blocks noch einmal übertragen werden, jeder Block wird also zyklisch fortgesetzt. Erfolgt die Demodulation der Daten im Empfänger durch eine Fast-Fourier-Transformation (FFT), kann bei Verwendung eines zyklischen Prefixes die Entzerrung im Empfänger wesentlich vereinfacht werden. Das Sendesignal besitzt dann folgende Form:

$$
\begin{aligned}
s^T = \; & [a_{M-P} \; a_{M-P+1} \ldots a_{M-1} \; a_0 \; a_1 \ldots a_{M-1}]\\
& [a_{2M-P} \; a_{2M-P+1} \ldots a_{2M-1} \; a_M \; a_{M+1} \ldots a_{2M-1}] \qquad (1)\\
& [\ldots
\end{aligned}
$$

$$
= [\, a_0^T\langle {}^{M-1}_{M-P} \rangle \;\; a_0^T \;\; a_M^T\langle {}^{M-1}_{M-P} \rangle \;\; a_M^T \;\; \ldots] \qquad (2)
$$

Die Notation $a_0^T\langle{}^{M-1}_{M-P}\rangle$ bedeutet die Elemente $M-P$ bis $M-1$ des Vektors a_0. In *Fig.* 1 wird das Sendesignal bei Verwendung eines zyklischen Prefixes graphisch dargestellt.

Das Empfangssignal y_n ist die Faltung aus Sendesignal und Kanal.

$$y_n = \{s_k * h_k\}(n) = \sum_{k=0}^{P} h_k s_{n-k} \tag{3}$$

h_k ist der Kanal und besitzt $P+1$ Koeffizienten. Der Empfänger spaltet die Eingangssequenz in Blöcke der Länge $M+P$ auf und verwirft von jedem Block die ersten P Werte, siehe *Fig.* 2.

$$\begin{aligned}
\mathbf{y}_P^T &= [\,y_P \quad y_{P+1} \quad \cdots \quad y_{M+P-1}\,] \\
\mathbf{y}_{M+2P}^T &= [\,y_{M+2P} \quad y_{M+2P+1} \quad \cdots \quad y_{2M+2P-1}\,] \\
&\vdots \\
\mathbf{y}_{m(M+P)+P}^T &= [\,y_{m(M+P)+P} \quad y_{m(M+P)+P+1} \quad \cdots \quad y_{(m+1)(M+P)-1}\,] \\
&\vdots
\end{aligned}$$

Der m-te Block besitzt einen Indizesbereich von $n = m(M+P)+P, m(M+P)+P+1, \ldots, (m+1)(M+P)-1$. Auf jeden dieser Blöcke wird nun eine Fast Fourier Transformation (FFT) der Länge M angewendet. Für den Block m ergibt sich

$$\begin{aligned}
Y_l &= \mathrm{FFT}_M\{\mathbf{y}_{m(M+P)+P}\}(l) && (4)\\
&= \sum_{n=0}^{M-1} y_{m(M+P)+P+n}\, e^{-j\frac{2\pi}{M}nl} && (5)\\
&= \sum_{n=0}^{M-1}\sum_{k=0}^{P} h_k s_{m(M+P)+P+n-k}\, e^{-j\frac{2\pi}{M}nl} \qquad n' = n-k && (6)\\
&= \sum_{k=0}^{P} h_k \sum_{n'=-k}^{-k+M-1} s_{m(M+P)+P+n'}\, e^{-j\frac{2\pi}{M}(n'+k)l} \qquad n = n' && (7)\\
&= \sum_{k=0}^{P} h_k\, e^{-j\frac{2\pi}{M}kl} \sum_{n=-k}^{-k+M-1} s_{m(M+P)+P+n}\, e^{-j\frac{2\pi}{M}nl}\,. && (8)
\end{aligned}$$

Der Term $H_l = \sum_{k=0}^{P} h_k \exp(-j\frac{2\pi}{M}kl)$ ist die M-Punkte FFT des Kanals h_k, wobei die Koeffizienten h_{P+1} bis h_{M-1} Null sind. Wünschenswert wäre nun, wenn Gl. (8) faktorisierbar ist, d.h. sich in das Produkt der FFT von h_k und eines weiteren Multiplikanten zerlegen läßt.

Daß sich Gl. (8) tatsächlich multiplikativ zerlegen läßt, ist nicht direkt ablesbar, denn in der zweiten Summe von Gl. (8) kommt ebenfalls der Summationindex k der ersten Summe vor. Kann gezeigt werden, daß der Wert der zweiten Summe trotzdem unabhängig von k ist, ist Gl. (8) faktorisierbar. Betrachtet man den Ausdruck

$$S_l(k) = \sum_{n=-k}^{-k+M-1} s_{m(M+P)+P+n}\, e^{-j\frac{2\pi}{M}nl}\,, \tag{9}$$

so stellt dieser den l-ten Wert der FFT von der Folge $s_{m(M+P)+P+n}, n = -k, -k+1, \ldots, -k+M-1$, dar. Berücksichtigt man, daß der Wertebereich für k auf $0, 1, \ldots, P$ limitiert ist, ist aus Gl. (1) ersichtlich, daß die Summationsgrenzen immer im m-ten Block bleiben. Dadurch, daß der m-te Sendeblock aus $[\,\mathbf{a}^T_{mM}\langle^{M-1}_{M-P}\rangle \quad \mathbf{a}^T_{mN}\,]$ besteht, wird jeweils über genau eine vollständige Periode $a_{mM}, a_{mM+1}, \ldots, a_{mM+M-1}$ summiert.

In Gl. (9) gilt also, daß $S_l(k)$ unabhängig von k ist, $S_l(k) = S_l$. Dieser Sachverhalt soll nun anhand eines einfachen Beispiels deutlich gemacht werden.

Beispiel:

$M=3$
$P=2$
$m=0$
$\mathbf{s}^T = [a_1\; a_2\; a_0\; a_1\; a_2]$
$S_l(k) = \sum_{n=-k}^{-k+2} s_{2+n}\, e^{-j\frac{2\pi}{3}nl}$
$S_l(0) = s_2 + s_3\, e^{-j\frac{2\pi}{3}1l} + s_4\, e^{-j\frac{2\pi}{3}2l} = a_0 + a_1\, e^{-j\frac{2\pi}{3}1l} + a_2\, e^{-j\frac{2\pi}{3}2l}$
$S_l(1) = s_1\, e^{j\frac{2\pi}{3}1l} + s_2 + s_3\, e^{-j\frac{2\pi}{3}1l}$
$\quad = a_2\, e^{j\frac{2\pi}{3}1l} + a_0 + a_1\, e^{-j\frac{2\pi}{3}1l} = a_0 + a_1\, e^{-j\frac{2\pi}{3}1l} + a_2\, e^{-j\frac{2\pi}{3}2l} = S_l(0)$
$S_l(2) = s_0\, e^{j\frac{2\pi}{3}2l} + s_1\, e^{j\frac{2\pi}{3}1l} + s_2$
$\quad = a_1\, e^{j\frac{2\pi}{3}2l} + a_2\, e^{j\frac{2\pi}{3}1l} + a_0 = a_0 + a_1\, e^{-j\frac{2\pi}{3}1l} + a_2\, e^{-j\frac{2\pi}{3}2l} = S_l(0)$

Ausschlaggebend für obige Umformungen ist die Identität $e^{-j\frac{2\pi}{M}nl} = e^{j\frac{2\pi}{M}(M-n)l}$.

Gl. (9) ist also die FFT des Blocks $\mathbf{a}_{mM}$, welcher seinerseits die IFFT des Datenblocks $\mathbf{A}_{mM}$ ist. (9) ist also nichts anderes als das Datum A_{mM+l}.

Setzt man dieses Ergebnis in Gl. (8) ein, erhält man

$$Y_l = \sum_{k=0}^{P} h_k\, e^{-j\frac{2\pi}{M}nl} A_{mM+l}\,. \tag{10}$$

Wie bereits erwähnt wurde, stellt die verbleibende Summe die FFT der Länge M des Kanals dar,

$$Y_l = H_l A_{mM+l} \qquad \text{mit} \qquad H_l = \sum_{k=0}^{P} h_k\, e^{-j\frac{2\pi}{M}kl}\,. \tag{11}$$

Gl. (4) ist also nichts anderes als das l-te Datum des m-ten Blocks, A_{mM+l}, mutlipliziert mit H_l, das ist das Spektrum des Kanals h_k ausgewertet bei der Frequenz $l\frac{2\pi}{M}$. In diesem Fall ist eine Entzerrung besonders einfach möglich, jeder Empfangswert Y_l muß nur mit dem Kehrwert von H_l multipliziert werden.

Die Transformationslänge L der FFT ist ident mit der Länge der Datenblöcke M während die Länge P des Guard-Intervalls bzw. des zyklischen Prefixes größer oder gleich der Gedächtnislänge des Übertragungskanals ist.

Um das zyklische Prefix des Sendesignals einzusparen, ist erfindungsgemäß vorgesehen, daß das Guard-Intervall signalfrei bzw. ohne Prefix übertragen wird, wobei die Demodulation mittels Fourier-Transformation (FFT) mit einer Länge L erfolgt, die größer oder gleich der Summe der Informationsblocklänge M und der Länge P des Guard-Intervalls ist. Das Guard-Intervall kann dabei jeweils vor oder nach einem Informationsblock gesendet werden.

Zunächst werden wie beim bekannten Übertragungsverfahren die zu sendenden Daten A_k, k=0, 1, 2,... in Blöcke A_{mM} der Länge M zusammengefaßt. Die Modulation erfolgt ebenfalls mittels einer M-Punkte IFFT, $a_{mM} = IFFT_M\{A_{mM}\}$. Statt in bekannter Weise die letzten P Werte jedes gesendeten Blockes zyklisch zu wiederholen, werden jetzt leere Guard-Intervalle der Länge P eingefügt, d.h. in diesen Zeiträumen werden Nullen übertragen. Das Sendesignal lautet in diesem Fall

$$s^T = [a_0\ a_1\ \ldots\ a_{M-1}\ 0\ 0\ \ldots\ 0]\ [a_M\ a_{M+1}\ \ldots\ a_{2M-1}\ 0\ 0\ \ldots\ 0]\ [\ldots \qquad (12)$$
$$= [\mathbf{a}_0^T\ \mathbf{0}_P^T\ \mathbf{a}_M^T\ \ldots\ \mathbf{0}_P^T] \qquad (13)$$

$\mathbf{0}_P$ ist der Nullvektor der Länge P. Fig.3 zeigt das auf diese Weise gebildete Sendesignal. Ist das Guard-Intervall P Symbole lang und werden im Sender je M Informationssymbole geblockt, so werden die ankommenden Daten y_n im Empfänger zunächst zu Blöcken der Länge M+P zusammengefaßt, wie es in Fig.4 gezeigt ist.

$$\begin{array}{lllll}
\mathbf{y}_0^T = & [y_0 & y_1 & \cdots & y_{M+P-1}] \\
\mathbf{y}_{M+P}^T = & [y_{M+P} & y_{M+P+1} & \cdots & y_{2(M+P)-1}] \\
 & \vdots & & & \\
\mathbf{y}_{m(M+P)}^T = & [y_{m(M+P)} & y_{m(M+P)+1} & \cdots & y_{(m+1)(M+P)-1}] \\
 & \vdots & & &
\end{array}$$

Der Block m besitzt einen Indizesbereich $n = m \cdot (M+P), m \cdot (M+P)+1, \ldots, (m+1) \cdot (M+P)-1$. Auf jeden dieser Blöcke der Länge M+P wird eine FFT mit einer Blocklänge L von mindestens M+P angewendet. Das transformierte Signal wird nun im Vektor $Y_L = FFT_L\{\mathbf{y}_{m(M+P)}\}$ zusammengefaßt.

Die Entzerrung des dispersiven Übertragungskanals erfolgt wie im bekannten Übertragungsverfahren im Frequenzbereich. Nach der Demodulation werden die L Elemente des Vektors Y_L durch Abtastwerte des Spektrums des Kanals dividiert. Der daraus resultierende Vektor X_L ist die L-Punkte FFT des aktuell gesendeten Datenblocks $x = [a_{mM}\ a_{mM+1} \cdots a_{mM+M-1}]^T$

$$X_L = \mathrm{FFT}_L\ \{x\}.$$

Weil im Sender die Modulation mit einer M-Punkte IFFT erfolgt,

$$x = \mathrm{IFFT}_M\{A_{mM}\},$$

ist die M-Punkte FFT des aktuellen Sendeblocks x gleich den gesendeten Daten A_{mM}. Aus X_L muß also die M-Punkte FFT $X_M = \mathrm{FFT}_M\{x\} = A_{mM}$ berechnet werden.

Die Berechnung des Vektors X_M aus X_L ist eindeutig möglich, die Wahl von L bestimmt aber die Komplexität.

Ist die Gedächtnislänge des Kanals kleiner oder gleich M ($P \leq M$), so ist es sinnvoll, die Transformationslänge L der Fourier-Transformation (FFT) gleich der doppelten Informationsblocklänge 2·M zu wählen (L= 2M), wie dies in Fig.5 dargestellt ist. Weil die FFT der Transformationslänge 2M nur an den geradzahligen Indizes ausgewertet werden muß, ist eine sehr effiziente Implementierung möglich. Der zu transformierende Block, welcher ja nur $M + P$ lang ist, wird durch Anhängen von $M - P$ Nullen auf $2M$ verlängert. Für den Block m erhät man

$$Y_l = \mathrm{FFT}_{2M}\{y_{m(M+P)}\}(l) \tag{14}$$

$$= \sum_{n=0}^{M+P-1} y_{m(M+P)+n}\ e^{-j\frac{2\pi}{2M}nl} \tag{15}$$

$$= \sum_{n=0}^{M+P-1} \sum_{k=0}^{P} h_k s_{m(M+P)+n-k}\ e^{-j\frac{2\pi}{2M}nl} \qquad n' = n - k \tag{16}$$

$$= \sum_{k=0}^{P} h_k \sum_{n'=-k}^{-k+M+P-1} s_{m(M+P)+n'}\ e^{-j\frac{2\pi}{2M}(n'+k)l} \qquad n = n' \tag{17}$$

$$= \sum_{k=0}^{P} h_k\ e^{-j\frac{2\pi}{2M}kl} \sum_{n=-k}^{-k+M+P-1} s_{m(M+P)+n}\ e^{-j\frac{2\pi}{2M}nl}\ . \tag{18}$$

Je nach dem Wert von k beginnt die Summation über n für $k = 0$ bei $n = 0$ bis zu $n = -P$ bei $k = P$, also $s_{m(M+P)-P}$ bis $s_{m(M+P)}$. All diese Werte bis auf $s_{m(M+P)}$ sind aber infolge der Nullen im Guardinterval immer ident Null. Die Summation kann daher unabhängig von k immer bei $n = 0$ begonnen werden.

Die obere Summationsgrenze kann in Abhängigkeit von k die Werte $M-1$ bis $M+P-1$ annehmen, die zugehörigen Signalelemente sind $s_{m(M+P)+M-1}$ bis $s_{m(M+P)+M+P-1}$. $s_{m(M+P)+M}$ bis $s_{m(M+P)+M+P-1}$ fallen aber wieder in ein Guardinterval und sind daher wieder ident Null. Als obere Summationsgrenze kann daher immer $M-1$ geschrieben werden.

Einsetzten dieser Summationsgrenzen in Gl. (18) liefert

$$Y_l = \sum_{k=0}^{P} h_k\, e^{-j\frac{2\pi}{2M}kl} \sum_{n=0}^{M-1} s_{m(M+P)+n}\, e^{-j\frac{2\pi}{2M}nl} \tag{19}$$

$$= \mathrm{FFT}_{2M}\{\mathbf{h}\}(l)\ \mathrm{FFT}_{2M}\{\mathrm{a}_{mM}\}(l)\ , \tag{20}$$

wobei $h_k = 0$ für $k > P$ und $s_{m(M+P)+n} = 0$ für $n \geq M$ gilt. $\mathbf{h}$ ist die Impulsantwort des Kanals, $\mathbf{h}^T = [h_0\ h_1\ \ldots\ h_P]$. Der Vektor a_{mM} ist die IFFT der Länge M des zu übertragenden Datenblocks $\mathbf{A}_{mM}$, es gilt also

$$Y_l = \mathrm{FFT}_{2M}\{\mathbf{h}\}(l)\ \mathrm{FFT}_{2M}\{\mathrm{IFFT}_M\{\mathrm{A}_{mM}\}\}(l)\ . \tag{21}$$

Im folgenden wird der Ausdruck $\mathrm{FFT}_{2M}\{\mathrm{IFFT}_M\{\mathrm{A}_{mM}\}\}(l)$ näher untersucht.

$$\mathrm{FFT}_{2M}\{\mathrm{IFFT}_M\{\mathrm{A}_{mM}\}\}(l) = \sum_{k=0}^{M-1} \left(\frac{1}{M} \sum_{n=0}^{M-1} A_{mM+n}\, e^{j\frac{2\pi}{M}nk} \right) e^{-j\frac{2\pi}{2M}kl} \tag{22}$$

$$= \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{M-1} A_{mM+n}\, e^{j\frac{2\pi}{2M}k(2n-l)} \tag{23}$$

Auswerten des obenstehenden Ausdrucks für geradzahliges $l = 2r$ liefert

$$\mathrm{FFT}_{2M}\{\mathrm{IFFT}_M\{\mathrm{A}_{mM}\}\}(2r) = \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{M-1} A_{mM+n}\, e^{j\frac{2\pi}{2M}k(2n-2r)} \tag{24}$$

$$= \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{M-1} A_{mM+n}\, e^{j\frac{2\pi}{M}k(n-r)} \tag{25}$$

$$= \frac{1}{M} \sum_{n=0}^{M-1} A_{mM+n} \sum_{k=0}^{M-1} e^{j\frac{2\pi}{M}k(n-r)} \tag{26}$$

$$= \frac{1}{M} \sum_{n=0}^{-1} A_{mM+n} M\, \delta_n^r \tag{27}$$

$$= \frac{1}{M} A_{mM+r} M = A_{mM+r}\ . \tag{28}$$

Mit diesem Ergebnis wird Gl. (20) zu

$$Y_{2r} = \mathrm{FFT}_{2M}\{h\}(2r)\, A_{mM+r}\,. \tag{29}$$

Die $2M$ FFT von $y_{m(M+P)}$ ausgewertet an der Stelle $2r$ ist also das r-te Symbol des m-ten Blockes, A_{mM+r}, multipliziert mit dem Spektrum des Kanals h bei der Frequenz $\frac{2\pi}{2M}2r$. Es kann dieselbe Methode zur Entzerrung wie bei Verwendung eines zyklischen Prefixes angewendet werden.

Weil in Gl. (29) nur die geradzahligen Indizes von Interesse sind, kann die FFT der Länge $2M$ in Gl. (14) leicht auf eine FFT der Länge M zurückgeführt werden. Der Block, auf welchen die FFT der Länge $2M$ angewendet wird, besitzt eine Länge von $M + P$, er wird mit Nullen auf $2M$ erweitert.

$$\mathrm{FFT}_{2M}\{y_{m(M+P)}\}(2r) = \sum_{n=0}^{2M-1} y_{m(M+P)+n}\, e^{j\frac{2\pi}{2M}2nr} \tag{30}$$

$$= \sum_{n=0}^{M-1} y_{m(M+P)+n}\, e^{j\frac{2\pi}{M}nr} + \sum_{n=M}^{2M-1} y_{m(M+P)+n}\, e^{j\frac{2\pi}{M}nr} \tag{31}$$

$$= \sum_{n=0}^{M-1} y_{m(M+P)+n}\, e^{j\frac{2\pi}{M}nr} + \sum_{n=0}^{M-1} y_{m(M+P)+M+n}\, e^{j\frac{2\pi}{M}(M+n)r} \tag{32}$$

$$= \sum_{n=0}^{M-1} \left(y_{m(M+P)+n} + y_{m(M+P)+M+n}\right)\, e^{j\frac{2\pi}{M}nr} \tag{33}$$

$$= \mathrm{FFT}_{M}\{y_{m(M+P)}<_{0}^{M-1}> + y_{m(M+P)}<_{M}^{2M-1}>\}(r) \tag{34}$$

Wie aus Gl. (34) zu sehen ist, können die geradzahligen Indizes einer $2M$ FFT durch eine FFT der Länge M berechnet werden. Der einzig zusätzlich entstehende Aufwand besteht in der Addition der beiden Blöcke. Wird berücksichtigt, daß der zweite Block nur P von Null verschiedene Elemente enthält, sind P zusätzliche Additionen notwendig.

PATENTANWALT DIPL.-ING. DR. TECHN.
FERDINAND GIBLER
Vertreter vor dem Europäischen Patentamt
A-1010 WIEN Dorotheergasse 7
Telefon: (-43-1-) 512 10 98

23406/we

PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Übertragung von Daten durch ein Mehrträgerverfahren, z.B. DMT (Discrete Multitone) in einem Übertragungskanal, bei dem die Daten in einem Sender zu Blöcken mit gleicher Anzahl an Informationssymbolen (M) zusammengefaßt, durch eine Inverse-Fast-Fourier-Transformation (IFFT) moduliert und übertragen werden, und in einem Empfänger durch Fast-Fourier-Transformation (FFT) demoduliert werden, wobei senderseitig zwischen den Blöcken jeweils ein Guard-Intervall für die empfängerseitige Entzerrung eingefügt und mitübertragen wird, welches Guard-Intervall eine Länge (P) aufweist, die größer oder gleich der Gedächtnislänge des Übertragungskanals ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Guard-Intervall signalfrei bzw. ohne Prefix übertragen wird, und daß die Demodulation im Empfänger mittels Fast-Fourier-Transformation (FFT) mit einer Länge (L) erfolgt, die größer oder gleich der Summe der Informationsblocklänge (M) und der Länge (P) des Guard-Intervalls ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der jeweils im Empfänger zu transformierende, die Länge (M+P) aufweisende Informationsblock durch Anhängen von Nullen auf die Transformationslänge (L) verlängert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Transformationslänge (L) der Fast-Fourier-Transformation (FFT) gleich der doppelten Informationsblocklänge $2 \cdot M$ ist.

4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Guard-Intervall jeweils vor oder nach einem Informationsblock gesendet wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß im Guard-Intervall ein Nutzsignal, z.B. Pilottöne, übertragen wird.

Der Patentanwalt:

PATENTANWALT DIPL.-ING. DR. TECHN.
FERDINAND GIBLER
Vertreter vor dem Europäischen Patentamt
A-1010 WIEN Dorotheergasse 7
Telefon: (-43-1-) 512 10 98

ZUSAMMENFASSUNG

Verfahren zur Übertragung von Daten durch ein Mehrträgerverfahren, z.B. DMT (Discrete Multitone), bei dem die Daten in einem Sender zu Blöcken mit gleicher Anzahl an Informationssymbolen (M) zusammengefaßt, durch eine Inverse-Fast-Fourier-Transformation (IFFT) moduliert und übertragen werden, und in einem Empfänger durch Fast-Fourier-Transformation (FFT) demoduliert werden, wobei senderseitig zwischen den Blöcken jeweils ein Guard-Intervall für die empfängerseitige Entzerrung eingefügt und mitübertragen wird, welches Guard-Intervall größer oder gleich der Gedächtnislänge des Übertragungskanals ist, und wobei das Guard-Intervall signalfrei bzw. ohne Prefix übertragen wird und die Demodulation im Empfänger mittels Fast-Fourier-Transformation (FFT) mit einer Länge (L) erfolgt, die größer oder gleich der Summe der Informationsblocklänge (M) und der Länge (P) des Guard-Intervalls ist.

(Fig. 3)

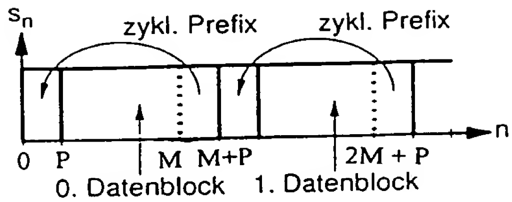


FIG. 1

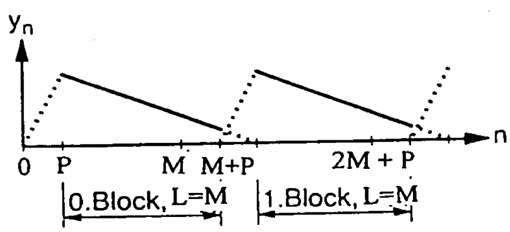


FIG. 2

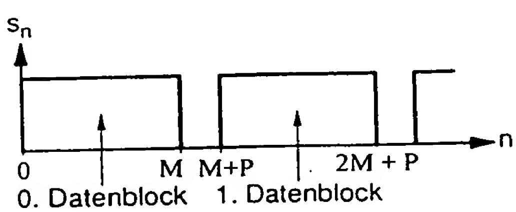
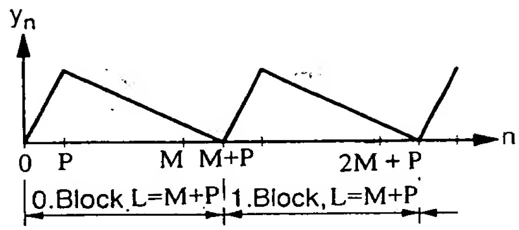
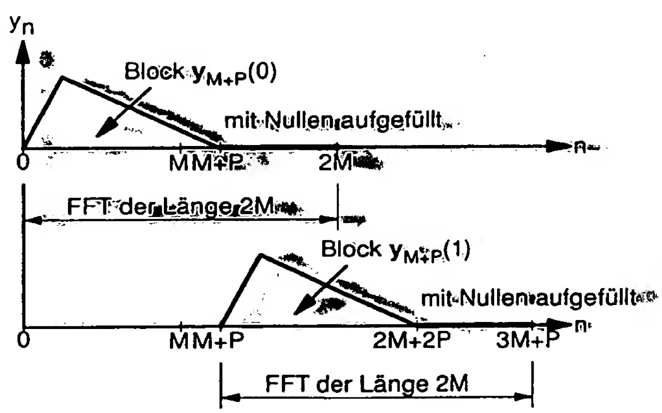


FIG. 3

A2128/98-1 Urtext



F/G.4



F/G.5